



## Research Paper

## Trend Analysis of Precipitation Extreme Indices in Iran Based on Quantile Regression Model

Ayub Mirzaei Hassanlu<sup>1</sup>, Mahdi Erfanian<sup>2\*</sup>, Khadijeh Javan<sup>3</sup> and Mohammad Reza Najafi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Scholar, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>2</sup>Assoc. Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>3</sup>Assoc. Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>4</sup>Assoc. Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Western University, London, Canada

### Article information

**Received:** February 04, 2024

**Revised:** April 02, 2024

**Accepted:** April 26, 2024

### Keywords:

Extreme Indices

Iran

Spatial Variability

Quantile Regression

\*Corresponding author:

[m.erfanian@urmia.ac.ir](mailto:m.erfanian@urmia.ac.ir)



### Abstract

The incidence of climate events such as droughts and floods in any given region is intricately tied to the temporal and spatial distribution of precipitation. In hydrological modeling, precise analyses of precipitation trends and extreme precipitation indices hold significant importance. This study aims to examine the trends in annual precipitation averages and extreme precipitation indices using a quantile regression (QR) model across 39 synoptic stations in Iran over a 50-year statistical period (1972-2021). Iran experienced its highest annual precipitation average in 1982, reaching 491.6 mm, while the lowest was recorded in 2021 at 218.3 mm. The quantile regression model analysis revealed a downward trend in Iran's annual precipitation averages across the 0.05, 0.5, and 0.95 quantiles, with significance levels of 0.1, 0.05, and 0.01, respectively. Extreme precipitation indices in the northern and western parts of Iran were notably higher than in other regions. The R10 and R20 indices also represent the number of days with at least 10 mm and 20 mm of precipitation, respectively. They show a decreasing trend in northern and northwestern Iran at significance levels of 0.1, 0.05, and 0.01. These trend analyses offer valuable insights into annual precipitation averages and extreme indices, aiding water resources.

**How to cite this paper:** Mirzaei Hassanlu, A., Erfanian, M., Javan, K., & Najafi, M. R. (2024). Trend analysis of precipitation extreme indices in Iran based on quantile regression model. *Environ. Water Eng.*, 10(4), 541-557. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.441177.1912> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** Journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

In recent decades, the escalating influence of climate change has cast a substantial impact on Iran's water resources, agriculture, and environmental equilibrium, leading to discernible shifts in both precipitation and temperature patterns. These climatic transitions play a pivotal role in shaping the hydrological cycle, contributing to the occurrence of severe events such as droughts and floods, which carry far-reaching consequences. Precipitation, a pivotal climatic variable, exerts significant influence over water resource access, agricultural irrigation practices, and the broader socioeconomic fabric. A meticulous analysis of precipitation trends becomes imperative for steering effective water resource management, bolstering preparedness for floods, and implementing strategies for drought mitigation. However, traditional methodologies, encompassing linear regression and Mann-Kendall tests, often adopt a narrow focus on mean or median values, potentially overlooking nuanced variations present in different segments of the data distribution. In this context, our study seeks to transcend these limitations by undertaking a comprehensive trend analysis of precipitation and extreme precipitation indices in Iran (R10 and R20 (number of days with a minimum of 10 and 20 mm of precipitation, respectively)). This undertaking is facilitated by the application of the quantile regression (QR) model, a sophisticated approach that enables a more detailed exploration of trends at various quantiles. The temporal scope of our investigation spans half a century, from 1972 to 2021, covering a substantial timeframe marked by both natural variability and the discernible impacts of climate change. The study encompasses 39 strategically selected synoptic stations in Iran, recognizing the diverse climatic conditions characterizing the country's regions. By delving into trends at different quantiles, our objective is to unravel the intricacies of changes in both dry and wet conditions, providing a more nuanced and granular understanding of Iran's climatic evolution.

### Material and Methods

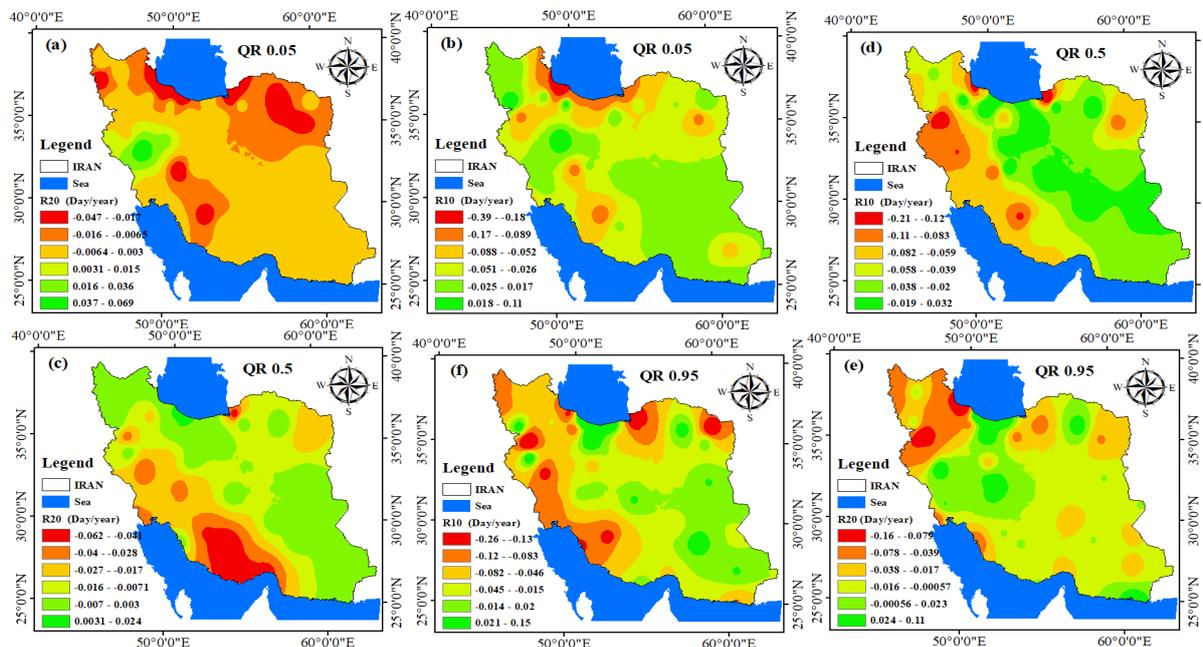
The quantile regression (QR) model is employed to analyze precipitation trends, allowing for a detailed exploration of low, medium, and high

quantiles. Unlike traditional methods, QR does not assume normal distribution, is robust against outliers, and enables the examination of trends across different parts of the data distribution. Quantile regression is a statistical technique used to analyze the relationship between variables when the data does not meet the assumptions of traditional linear regression, such as normally distributed errors or constant variance. Unlike ordinary least squares regression, which estimates the conditional mean of the dependent variable, quantile regression estimates the conditional quantiles. In this study, quantile regression is utilized to explore precipitation trends across different quantiles. The study spans 39 synoptic stations, representing Iran's diverse climate. Quantile regression is employed to explore precipitation trends across different quantiles, allowing for a more detailed examination of the data distribution. This approach is particularly useful when analyzing extreme values or segments of the data that may deviate from the overall trend. By analyzing trends at various quantiles, we can gain insights into how precipitation patterns vary across different levels of intensity. The analysis encompasses 39 synoptic stations in Iran, capturing the diverse climatic conditions present across the country. By utilizing quantile regression, we aim to uncover nuanced trends in precipitation and extreme precipitation indices, providing a comprehensive understanding of Iran's climatic evolution over the past 50 yr.

### Results

As shown in Fig. 1, the R10 index demonstrates a discernible decline across several regions in northern Iran, specifically at the 0.05 quantile level. Notably, stations including Babolsar, Gorgan, Iranshahr, Rasht, and Tehran exhibit this decreasing trend at the 95% confidence level, while the trend is even more pronounced at the 99% confidence level in Shiraz. Conversely, Qazvin and Saqqez stations show a significant increasing trend, but only at the 99% confidence level. At the 0.5 quantile level, the R10 index indicates a diminishing trend across northern and western Iran as well as the Zagros region, affecting various parts of the country. This trend is statistically significant at the 99% confidence level in Abadan, Gorgan, Sanandaj, and Shiraz, and at the 95% confidence level in Torbat

Heydari, Khorramabad, Abadan, Anzali, Arak, Kermanshah, and Tehran.



**Fig 1.** Spatial variations in the slope of quantile regressions in Iran: a) R20 (0.05), b) R10 (0.05), c) R20 (0.5), d) R10 (0.5), e) R20 (0.95), and f) R10 (0.95).

**Conclusions**

Quantile Regression emerges as a valuable tool for analyzing precipitation trends, offering insights into various quantiles and addressing limitations of traditional linear regression methods. The results suggest a notable decrease in precipitation across Iran over the 50-year period, with distinct trends observed in different regions and quantiles. The study underscores the significance of considering extreme values and diverse parts of the distribution when assessing climate trends. Spatial variability maps generated through quantile regression can aid stakeholders and water resource managers in understanding the nuances of climate change impacts, supporting effective risk management and adaptation strategies.

**Acknowledgment**

The foundation of this study rests upon the initial findings uncovered in a doctoral thesis currently

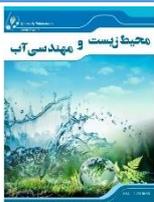
in progress at Urmia University. The essential meteorological data has been sourced from the Iran Meteorological Organization (IRIMO). The authors express their appreciation for the financial support provided by Urmia University, as well as the invaluable assistance and encouragement received from the esteemed editor-in-chief and editorial board of the journal. Furthermore, they extend their sincere gratitude for the insightful feedback generously provided by the respected reviewers.

**Data Availability**

The data utilized in this study is accessible to any researchers upon request.

**Conflicts of interest**

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش در ایران بر اساس مدل رگرسیون چندکی

ایوب میرزائی حسنلو<sup>۱</sup>، مهدی عرفانیان<sup>۲\*</sup>، خدیجه جوان<sup>۳</sup> و محمدرضا نجفی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران  
<sup>۲</sup>دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران  
<sup>۳</sup>دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ایران  
<sup>۴</sup>دانشیار، گروه مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه وسترن، کانادا

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۱۱/۱۵]	<p>وقوع رویدادهای اقلیمی خشکسالی و سیلاب در هر منطقه به توزیع زمانی و مکانی بارش بستگی دارد. در مطالعات هیدرولوژی، تحلیل صحیح روند بارندگی و شاخص‌های حدی بارش، حائز اهمیت است. هدف از این پژوهش، تحلیل روند میانگین سالانه بارش و شاخص‌های حدی بارش با مدل رگرسیونی چندکی (QR) در ۳۹ ایستگاه سینوپتیک ایران در یک دوره آماری ۵۰ ساله (۱۹۷۲-۲۰۲۱) می‌باشد. بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین بارندگی سالانه ایران در سال ۲۰۲۱ و ۱۹۸۲ به میزان ۴۹۱/۶ mm/yr و ۲۱۸/۳ mm/yr بوده است. نتایج تحلیل روند با مدل رگرسیون چندکی نشان داد میانگین بارندگی سالانه ایران بر اساس چندک‌های ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۹۵ در سطوح معنی‌داری ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ روند نزولی داشته است. مقادیر شاخص‌های حدی بارش در قسمت‌های شمال و غرب ایران بیش‌تر از سایر مناطق بوده است. بعلاوه، شاخص‌های حدی بارش R10 و R20 (تعداد روزهای با حداقل ۱۰ و ۲۰ mm) در شمال و شمال‌غرب ایران، در سطح ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ روند نزولی داشته است. نتایج تحلیل روند بر اساس مدل QR اطلاعات کامل‌تری را از میانگین سالانه بارندگی و شاخص‌های حدی بارش به‌منظور مدیریت منابع آب و تدوین راهبردهای سازگار با خشکسالی و سیلاب ارائه می‌کند.</p>
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۳/۰۱/۱۴]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۳/۰۲/۰۷]	
واژه‌های کلیدی: ایران تغییرپذیری مکانی رگرسیون چندکی شاخص‌های حدی	
*نویسنده مسئول: <a href="mailto:m.erfanian@urmia.ac.ir">m.erfanian@urmia.ac.ir</a>	
	

### نحوه استناد به این مقاله:

میرزائی حسنلو، ایوب، عرفانیان، مهدی، جوان، خدیجه، و نجفی، محمدرضا. (۱۴۰۳). تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش در ایران بر اساس مدل رگرسیون چندکی. محیط زیست و مهندسی آب. 10(4) 541-557

<https://doi.org/10.22034/ewe.2024.441177.1912>



## ۱- مقدمه

شناخت و درک صحیح روند عناصر آب و هواشناسی مبنای درک چرخه آب است که در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب منطقه‌ای، مفید است (Yang et al. 2019).

در سال‌های گذشته، روش‌های متعددی برای تحلیل روند سری‌های زمانی متغیرهای بارش و دما شامل تحلیل رگرسیون خطی، آزمون من کندال، آزمون سن-سیل و آزمون اسپیرمن توسعه یافته است (Lucas et al. 2021; Pandey and Khare, 2018; Cheng et al, 2019). در بین روش‌های مذکور، آزمون من کندال به عنوان متداول‌ترین روش تحلیل روند متغیرها بارش و دما در مناطق مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. (Caloiero et al (2018) از آزمون سن و آزمون من کندال برای تحلیل روند بارندگی در بخش بزرگی از جنوب ایتالیا در مقیاس فصلی و سالانه استفاده کردند. (Jamali et al. (2022) از آزمون من کندال اصلاح‌شده برای تحلیل تغییرات شاخص حدی دما و بارش در ایران استفاده کردند. همچنین تحقیقات بسیار زیادی در ایران در زمینه تحلیل روند بارش من کندال انجام شده است (Javari 2016; Shifteh Some'e et al. 2012; Salehi et al. 2020). استفاده از روش‌های کلاسیک (من کندال) به دلیل ضرورت رعایت فرضیات آماری و حذف خودهمبستگی زمانی سری داده‌ها، محدودیت دارد. بعلاوه در روش من کندال، امکان تحلیل مقادیر کم، میانی و زیاد در یک سری آماری مانند دما یا بارش به سادگی میسر نمی‌باشد (Wang et al. 2020).

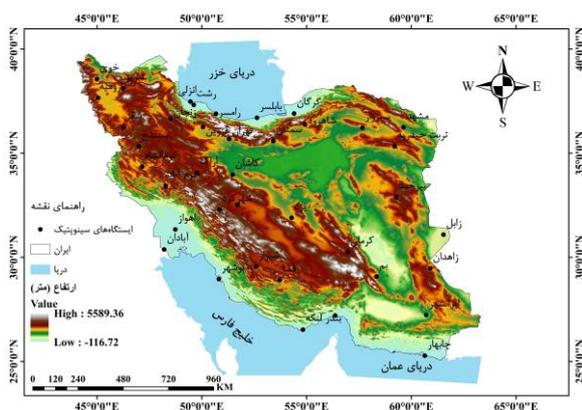
پژوهش‌های جدید نشان می‌دهد برای تحلیل روند داده‌ها، به یک روش انعطاف‌پذیر نیاز است تا از اشتباهات احتمالی در فرآیند تشخیص روندهای پنهان، کاسته شود (Dabanlı et al. 2016). از دیگر محدودیت روش‌های کلاسیک این است که تحلیل روند، اغلب برای مقادیر میانگین ماهانه، فصلی و سالانه، استفاده شده است. در صورت به‌کارگیری روش‌ها، شناخت و درک رویدادهای اقلیمی مرتبط با مقادیر بارش کم (خشکسالی) و یا بارش زیاد (سیلاب)، اغلب دشوار و بعضاً غیرممکن است (Abbas et al. 2019). (Tareghian (2013)

تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر، تأثیرات گسترده روی منابع آب، فعالیت‌های کشاورزی و محیط‌زیست داشته است (Xu and Shi 2008). افزایش تغییرات در اندازه و فراوانی متغیرهای بارش و دما از جمله تأثیرات عمده تغییرات آب و هوایی است (Dinpashoh et al. 2014). پدیده تغییر اقلیم، تأثیرات معنی‌دار روی تغییرپذیری متغیرهای آب و هوایی مانند بارندگی، دما و تبخیر و تعرق داشته است (Xu et al. 2016; Mohan et al. 2018). از میان متغیرهای اقلیمی، بارش یکی از عناصر اصلی چرخه هیدرولوژیک است که توزیع زمانی و مکانی آن با وقوع پدیده‌های خشکسالی و سیلاب، مرتبط است. مخاطرات اقلیمی می‌تواند دسترسی به آب شرب و کشاورزی، توسعه پایدار محیط زیست و منابع اقتصادی اجتماعی را تهدید کند (Wang et al. 2017). (Rasooli et al. (2013) گزارش دادند که روند بارندگی در شمال غرب ایران، نزولی و در مناطق جنوب غربی، صعودی بوده است و نواحی نیمه مرطوب و خیلی خشک ایران از سال ۱۹۸۰، تغییرات شدیدتری را داشته‌اند. تغییرات الگوی بارش در ایران موجب شده است که رویدادهای هیدرولوژیک از قبیل سیلاب و خشکسالی، افزایش یافته و تولید محصولات کشاورزی به دلیل کمبود آب و خشکسالی، به شدت کاهش یابند. تحلیل زمانی و مکانی بارش و شاخص‌های حدی، به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و تدوین برنامه‌های مناسب برای مقابله یا پیشگیری از وقوع سیل و خشکسالی، ضرورت دارد (Sanikhani et al. 2018). شاخص‌های حدی بارش و دما توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) به‌عنوان متغیرهای آشکارساز تغییر اقلیم که فراتر (یا فروتر) از حدود آستانه می‌باشند، تعریف شده است. تغییرات در شاخص‌های حدی مانند دوره‌های طولانی روزهای خشک (مرطوب)، حداکثر بارش روزانه، حداکثر بارش ۵ روزه، فراوانی یا تعداد روزهای بارش‌های سنگین (فوق سنگین) در مقایسه با میانگین‌های اقلیمی دما و بارش، بر جوامع انسانی و محیط‌زیست، تأثیرات معنی‌دارتر دارند. رویدادهای حدی بارش و دما تأثیر بسزایی روی نیازهای بشر بویژه بخش کشاورزی و منابع آب دارند (IPCC 1995).

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

ایران در عرض جغرافیایی میانه با مساحت  $1648195 \text{ km}^2$  قرار دارد که بیش از ۷۵٪ آن را نواحی خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد. میانگین سالانه بارندگی در بیشتر مناطق ایران بین ۵۰ تا  $350 \text{ mm}$  گزارش شده است (Bazrafshan et al. 2020). بیش‌ترین ارتفاعات مربوط به رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز است که رطوبت یا آب قابل بارش مناطق کوهستانی، نیمه کوهستانی (شمال غرب و غرب ایران) و آب‌وهوای مرطوب ساحلی (ناحیه خزری) را مسدود کرده و توزیع یا پراکنش غیریکنواخت بارش را در سراسر ایران باعث می‌شوند (Sharafi and Ghalehi 2022). در مناطق جنوبی ایران، مقدار بارندگی اغلب تحت تأثیر سامانه سودان است در حالی که منطقه جنوب شرقی، تحت تأثیر باران‌های موسمی و در بخش شمالی و میانی، تحت تأثیر سامانه پرفشار سیبری (SHPS) قرار دارد (Akbari 2015; Ghasemi and Khalili 2008). ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خود در جنب حاره، در فصول گرم سال تحت تأثیر پرفشار جنب حاره و در ماه‌های سرد، متاثر از سامانه دریای مدیترانه و کم‌فشار سودان است (Zarrin and Dadashi-Roudbari 2021). در این پژوهش، ایستگاه‌های سینوپتیک بر اساس وجود داده‌های بارش روزانه در دوره آماری ۵۰ ساله ۱۹۷۲-۲۰۲۱ انتخاب شد که موقعیت جغرافیایی و مشخصات ۳۹ ایستگاه انتخاب شده در شکل (۱) و جدول (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک انتخاب شده در ایران

Fig1. Geographical location of Iran and the selected synoptic stations

and Rasmussen نشان دادند اگر هدف پژوهش، تحلیل مقادیر کم، میانه و زیاد بارش باشد، نمی‌توان اطلاعات مورد نیاز را بر اساس روش‌های کلاسیک تحلیل روند بدست آورد. مدل رگرسیون چندکی (QR) ارائه شده توسط Koenker and Bassett (1978) و Koenker (2005) در واقع یک مدل توسعه یافته از مدل رگرسیون خطی است. این روش، یک رویکرد نوآورانه است که با کمک آن می‌توان جزئیات بیش‌تری را نسبت به رگرسیون خطی بدست آورد (Fan, 2014). Abbas et al. (2019) از مدل رگرسیون چندکی QR برای تحلیل روند بلندمدت بارش در دو منطقه متفاوت در بریتانیا استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رگرسیون چندکی قادر است الگوهای حاکم بر شرایط بسیار مرطوب و خشک را آشکارسازی نماید. مدل رگرسیون چندکی، محدودیت‌های مدل رگرسیون خطی (مبتنی بر روش حداقل مربعات) را نداشته و مستقل از شرایطی مشابه وجود داده‌های پرت، نرمال نبودن داده‌ها و خودهمبستگی زمانی در سری زمانی می‌باشد (Koenker 2005). در روش رگرسیون چندکی، دهک‌ها و صدک‌های متغیر مورد بررسی به صورت جداگانه قابل آزمون می‌باشد و تحلیل روند برای دهک‌ها، صدک‌ها و سطوح چندکی مختلف، قابل انجام است. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده در خارج می‌توان بیان داشت استفاده از رگرسیون چندکی جزئیات بیش‌تری را در تحلیل روند بارش و دما در اختیار محققان، قرار می‌دهد و محدودیت‌های آزمون من‌کندال یا مدل رگرسیون خطی را تا حدی زیادی برطرف می‌کند. بر همین اساس، پژوهش حاضر باهدف تحلیل روند تغییرات بارندگی و شاخص‌های حدی بارش در ۳۹ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره آماری ۵۰ ساله (۱۹۷۲-۲۰۲۱) با استفاده از مدل رگرسیون چندکی انجام شد. در پژوهش حاضر از بین شاخص‌های مختلف کارگروه آشکارسازی تغییر اقلیم IPCC، تحلیل روند دو شاخص تعداد روزهای با حداقل بارش  $10 \text{ mm}$  (R10) و تعداد روزهای با حداقل بارش  $20 \text{ mm}$  (R20) به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های حدی بارش، بر اساس مدل رگرسیون چندکی انجام گرفت.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در ایران در دوره آماری ۱۹۷۲-۲۰۲۱  
Table 1 Characteristics of selected synoptic stations across Iran for period 1972-2021

Station	Longitude (DD)	Latitude (DD)	Elevation (m)	Station	Longitude (DD)	Latitude (DD)	Elevation (m)
Arak	49.78	34.07	1702	Rasht	49.62	37.32	8.6
Urmia	45.06	37.66	1328	Zabol	61.54	30.09	489
Isfahan	51.71	32.52	1551	Zahedan	60.9	29.47	1370
Anzali	49.46	37.48	-23.6	Zanjan	48.52	36.36	1659
Ahvaz	48.74	31.34	22.5	Sabzevar	57.65	36.21	962
Iranshahr	60.72	27.23	591.1	Saghez	46.31	36.22	1522
Abadan	48.21	3.38	6.60	Semnan	53.42	35.59	1127
Babolsar	52.65	36.72	-21.0	Sanandaj	47.01	35.29	1373
Bam	58.35	29.10	1066	Shahrood	54.93	36.38	1325
Bandar -Abbas	56.37	27.21	9.80	Shahre- Kord	50.84	32.29	2048
Bandar -Lengeh	54.83	26.53	22.7	Shiraz	52.63	29.65	1488
Bushehr	50.82	28.69	9.00	Fasa	53.72	28.9	1268
Birjand	59.28	32.89	1491	Qazvin	50.02	36.32	1279
Tabriz	46.44	38.12	1361	Kashan	51.48	33.97	955
Torbat-e Heydariyeh	59.21	35.33	1451	Kerman	56.96	30.26	1754
Tehran	51.31	36.69	1191	Kermanshah	47.15	34.35	1318
Chabahar	60.65	25.28	8.00	Gorgan	54.41	36.91	0
Khoramabad	48.17	33.26	1147	Mashhad	59.63	36.24	999
Khoy	45.00	38.56	1103	Yazd	54.29	31.9	1230
Ramsar	50.68	36.90	-20.0	-	-	-	-

حدی استفاده شد. مدل رگرسیون چندکی به صورت رابطه (۱) می‌باشد (Koenker 2005):

$$Y(p|x) = \beta_0(p) + \beta_1(p)x + \epsilon \quad (1)$$

که،  $\beta_0(p)$  عرض از مبدأ و  $\beta_1(p)$  شیب خط رگرسیون چندکی می‌باشند و برای چندک‌های مختلف، این ضرایب جداگانه محاسبه می‌شوند. به عبارت دیگر، پارامترهای رگرسیون چندکی برای  $p$  امین چندک (۰/۰۱ تا ۰/۹۹) قابل برآورد است (Lee et al. 2013). برای برآورد ضرایب یا پارامترهای رگرسیون چندکی، برخلاف مدل رگرسیون خطی که از روش حداقل مربعات باقیمانده‌ها استفاده می‌شود، از روش حداقل‌سازی تابع هدف مجموع قدر مطلق باقیمانده‌ها استفاده می‌شود. بر این اساس، برآورد ضرایب رگرسیون برای  $p$  امین چندک، تابع هدف به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود (Koenker 2005):

## ۲-۲- مدل رگرسیون چندکی (QR)

رگرسیون چندکی به عنوان یک مدل آماری اولین بار در علم اقتصاد به عنوان ابزار جایگزین و مناسب‌تر از مدل رگرسیون خطی معمولی، معرفی شده است (Koenker and Bassett 1978; 2005). از مزایای این روش می‌توان گفت که نسبت به داده‌های دور افتاده یا داده‌های پرت، حساس نیست و نیازی به نرمال بودن متغیر مورد مطالعه نیست. این مدل برای متغیرهای دارای واریانس ناهمگن<sup>۱</sup> و متغیرهای با واریانس همگن<sup>۲</sup> قابل استفاده است. ضمناً در بررسی توزیع آماری متغیر، فقط مقدار میانگین مورد توجه نیست و دنباله‌های توزیع آماری نیز اهمیت زیادی دارند (Koenker 2005). نظر به دلایل مذکور در پژوهش حاضر، از مدل رگرسیون چندکی در تحلیل روند متغیر بارش و شاخص‌های

<sup>2</sup>Homoscedasticity

<sup>1</sup>Heteroscedasticity

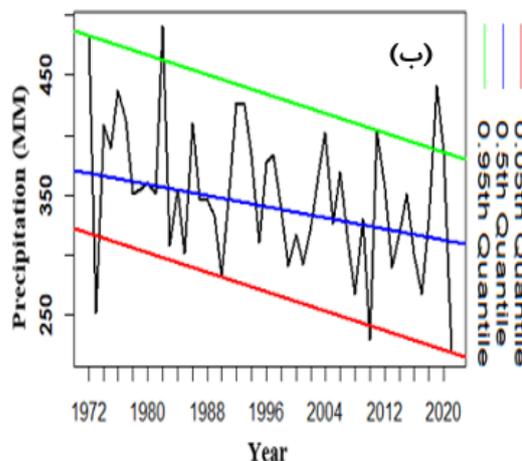
$$\text{minimize } \left\{ \sum_{i|y_i < y_p(x_i)} (1 - \rho)y_i - y_p(x_i) + \sum_{i|y_i > y_p(x_i)} \rho y_i - y_p(x_i) \right\} \quad (2)$$

شماره (۴) می‌شود. نحوه برآورد ضرایب یا پارامترهای مدل توسط (Koenker 2005) بیان شده است. در این پژوهش برای اجرای مدل رگرسیون چندکی، از بسته نرم‌افزاری quantreg در نرم‌افزار R استفاده شده است. برای تولید نقشه‌های رستری بارندگی و شاخص‌های حدی در سطوح چندگی ۰/۵، ۰/۰۵ و ۰/۹۵ از روش درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IWD) استفاده شد. به منظور طبقه‌بندی نقشه‌ها از روش Natural Breaks در نرم‌افزار Arc GIS 10.8 استفاده شد.

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- تغییرات زمانی و مکانی بارندگی سالانه

توزیع زمانی و مکانی بارش در ایران تحت تأثیر شرایط پیچیده آب و هوایی، جغرافیای طبیعی و توپوگرافی متنوع قرار دارد. شکل (۲) تغییرات بارندگی سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک ایران در دوره آماری ۱۹۷۲-۲۰۲۱ را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های شمال ایران شامل رامسر، بندر انزلی و رشت، بیش‌ترین بارندگی و مناطق شرق و جنوب شرقی ایران، کم‌ترین میانگین سالانه بارندگی را تجربه کردند.



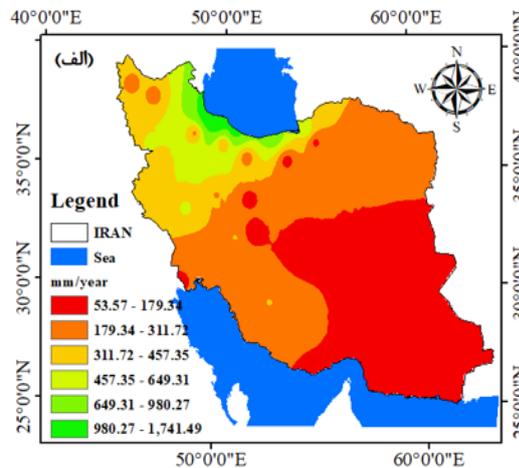
که، مجموع مقادیر قدر مطلق تفاوت بین مشاهدات  $y_i$  از چندک  $\rho$  و مقادیر مدل  $y_p(x_i)$  باید حداقل شود. اگر مشاهده‌ای، زیرخط چندک باشد وزن  $(1 - \rho)$  می‌گیرد و چنانچه بالای خط چندک باشد، وزن  $\rho$  به آن اختصاص می‌یابد (Lee et al. 2013). فرم عمومی مدل رگرسیون خطی چندکی با رابطه (۳) تعریف می‌شود (Koenker 2005):

$$Q_p(x|x) = x^T \beta_p \quad (3)$$

که  $Q_p$  چندک شرطی،  $x$  بردار متغیرهای مستقل و  $\beta_p$  بردار پارامترهای رگرسیون چندک  $\rho$  ام می‌باشد. برای مجموعه‌ای از مشاهدات  $(x_i, y_i)$ ،  $i = 1, 2, \dots, n$ ، برآورد پارامترهای  $\beta_p$  از رابطه شماره (۴) برآورد می‌شود (Koenker 2005):

$$\hat{\beta}_p = \text{arccmin} \sum_{i=1}^n \rho_p(y_i - x_i^T \beta) \quad (4)$$

به منظور برآورد پارامترهای مدل رگرسیون، تابع معرفی شده در رابطه (۳)، بیان ریاضی و ساده‌تر از روش بهینه‌سازی تابع هدف می‌باشد که منجر به برآورد پارامترهای  $\beta$  در رابطه



شکل ۲- الف) میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران و ب) تحلیل روند سطوح رگرسیون چندکی

Fig 2. a) Average annual precipitation at synoptic stations across Iran: b) and its trend analysis based on quantile regressions

سبک، بیش‌تر می‌شود. در چندک ۰/۵، بارندگی در قسمت‌های غرب و شمال‌غرب و شمال‌شرق، روند نزولی (۵/۸ mm/year) داشته است. در چندک ۰/۹۵ که بارندگی‌های شدید را شامل می‌شود، بخش‌های بیش‌تری از ایران، روند نزولی دارند و شیب روند (۱۳ mm/year) نسبت به دو چندک دیگر، بزرگ‌تر بوده

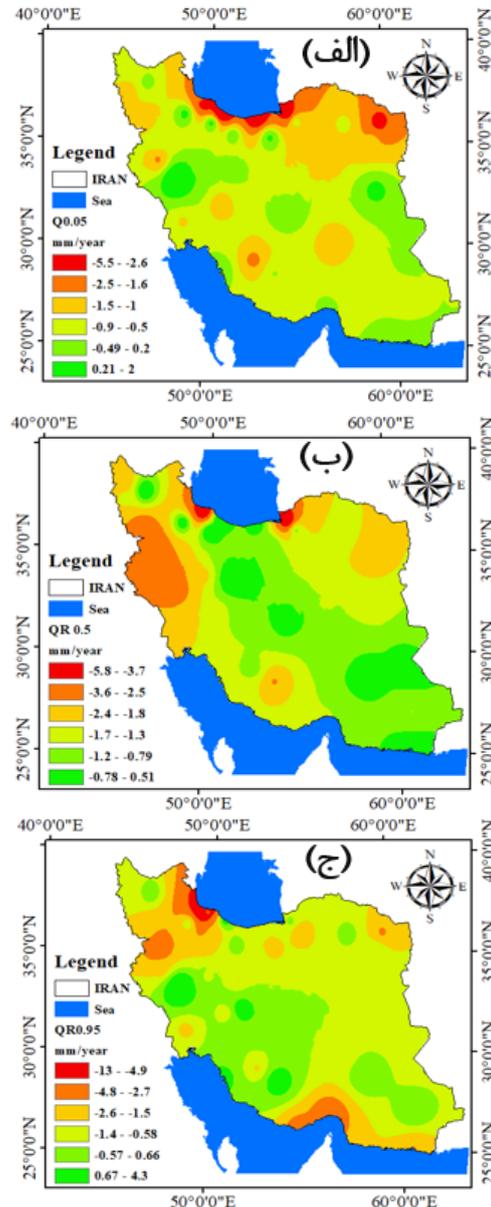
شکل (۳) تغییرات روند بارندگی سالانه ایران را در سه چندک ۰/۵، ۰/۰۵ و ۰/۹۵ نشان می‌دهد. در چندک ۰/۰۵ که مقادیر بارندگی خیلی کم را شامل می‌شود، قسمت‌های شمال و شمال‌شرق، روند نزولی (۵/۵ mm/year) داشته است. با حرکت به سمت جنوب و جنوب شرقی، مقدار بارندگی‌های

(R10) و تعداد روزهای با حداقل بارش ۲۰ mm (R20) مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش، مطابق با شاخص‌های تعریف‌شده توسط کارگروه آشکارسازی تغییر اقلیم IPCC، مقادیر ۱۰ و ۲۰ mm به‌عنوان آستانه بارش‌های سنگین و خیلی سنگین در نظر گرفته شده است (Klein Tank et al., 2009). شکل (۴) نقشه پراکنش مکانی، شاخص‌های حدی بارش برای ایران را نشان می‌دهد. خطوط چندکی پایین، میانی و بالایی برای شاخص‌های حدی بارش در پلات‌های مجزا، مشاهده می‌شود. رگرسیون خطی، تنها میانگین یا میانه متغیر مورد مطالعه (بارش) را مدنظر قرار داده و اطلاعات کافی در مورد نحوه تغییرات (روند نزولی یا صعودی) در طبقات مختلف توزیع فراوانی داده‌های بارش، ارائه نمی‌کند.

مطابق شکل (۴) میانگین تعداد روزهای با بارش سنگین (R10) در دوره آماری ۵۰ ساله در ایستگاه‌های انزلی (۴۷/۵۸ Day)، ایستگاه رشت (۴۰/۹۸ Day) و رامسر (۳۰/۰۹ Day) دارای بیش‌ترین مقدار R10 بوده‌اند. مقدار میانگین R10 در ایستگاه‌های شرق و جنوب شرقی ایران مانند یزد، زابل و بم به ترتیب با مقادیر ۱/۲۸ Day، ۱/۳۰ و ۱/۴۵، کم‌ترین مقدار را داشتند. لازم به ذکر است در سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۸۲، ۱۹۹۲، ۱۹۹۳، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹، بیش‌ترین مقدار R10 در بیشتر ایستگاه‌های ایران مشاهده شد. بر اساس تحلیل روند در سطوح چندکی ۰/۰۵ (رنگ قرمز)، ۰/۵ (میانگین) (رنگ آبی) و ۰/۹۵ (رنگ سبز)، روند نزولی دیده می‌شود اما در چندک ۰/۰۵ شیب روند، نزولی‌تر بوده (۰/۵۹-) و در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده است. روند در چندک ۰/۵ نیز در سطح ۰/۰۵ (۰/۴۴-) معنی‌دار بوده است اما در چندک ۰/۹۵ با شیب منفی ۰/۰۶، معنی‌دار نبود.

میانگین تعداد روزهای با بارش خیلی سنگین (R20) در دوره آماری، مطابق شکل (۴) در قسمت‌های شمال و تا حدودی شمال‌غرب ایران دارای بیش‌ترین فراوانی بوده که بیش‌ترین تعداد در ایستگاه‌های انزلی، رشت و رامسر و کم‌ترین تعداد در شرق و جنوب شرقی در ایستگاه‌های بم، یزد و زابل بوده است. همچنین در شاخص R20 نسبت به شاخص R10، پهنه‌های کم‌تری از ایران روزهای بارش خیلی سنگین را تجربه کرده است که بیانگر کاهش بارندگی‌های بیش‌تر از ۲۰ mm می‌باشد. نتایج تحلیل روند شاخص R20 نشان داد که مقادیر چندک

است. روند صعودی بارندگی سالانه در چندک ۰/۹۵ در برخی از ایستگاه‌های سینوپتیک، نسبت به دو چندک دیگر، بیش‌تر بوده است.



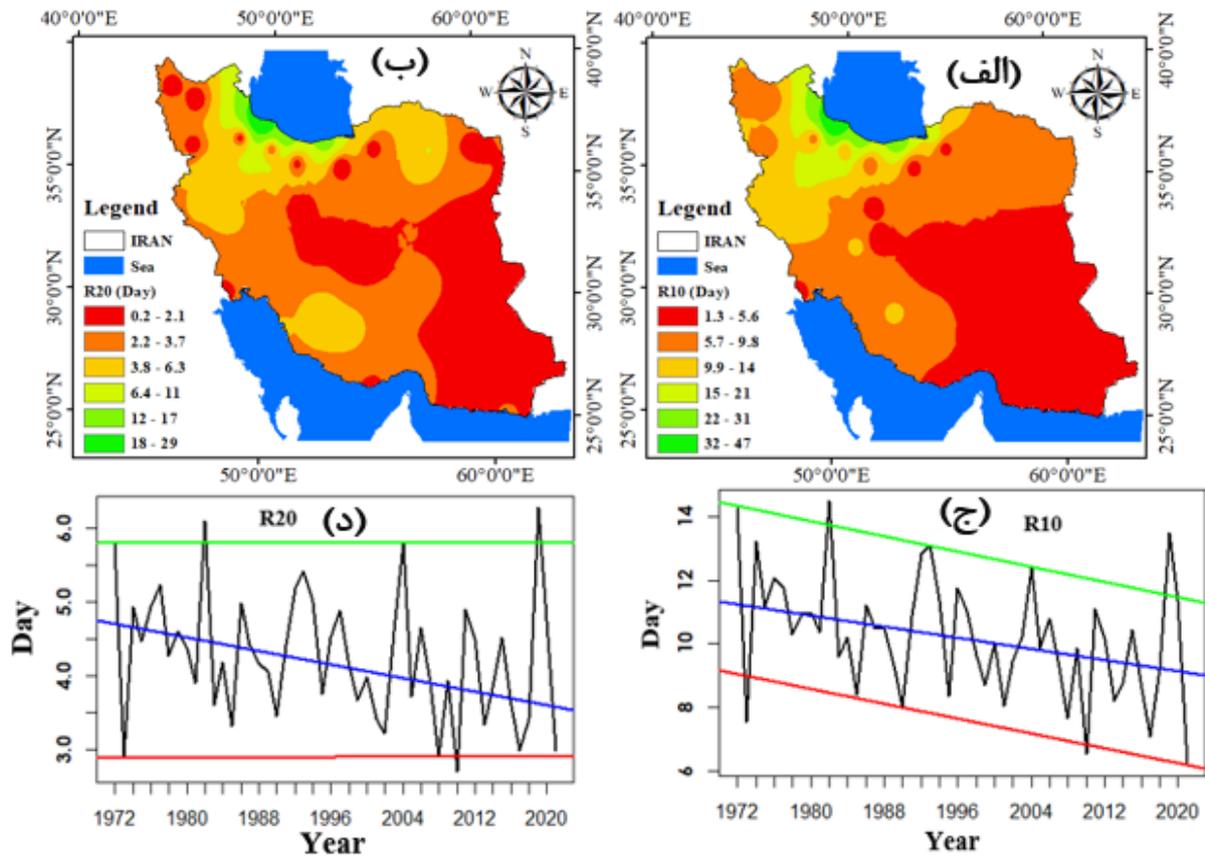
شکل ۳- تغییرات مکانی شیب خط رگرسیون‌های چندکی برای میانگین سالانه بارندگی ایران: الف- Q0.05، ب- Q0.5، و ج- Q0.95

Fig 3. Spatial variations in the slope of quantile regressions for annual precipitation across Iran: a) Q0.05, b) Q0.5, and c) Q0.95

۲-۳- تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های حدی بارش همان‌طور که قبلاً اشاره شد، تحلیل روند چندکی دو شاخص حدی بارش شامل تعداد روزهای با حداقل بارش ۱۰ mm

است. (2012) Greenville et al. در تحلیل روند بارش سالانه در استرالیا به این نتیجه رسیدند که فراوانی وقایع حدی بارش (چندک بالا) نسبت به چندک‌های میانی افزایش یافته است و رگرسیون چندکی، اطلاعات مفیدتری را ارائه می‌کند.

میانۀ (۰/۵) روند نزولی داشته است و در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده است. اما در چندک ۰/۰۵ روند صعودی (۰/۰۱) خیلی ضعیف و در چندک ۰/۹۵ تقریباً بدون روند بوده است. بر اساس هر دو شاخص، کم‌ترین مقادیر شاخص‌های حدی R20 و R10 در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۲۱ و ۱۹۷۳ رخ داده

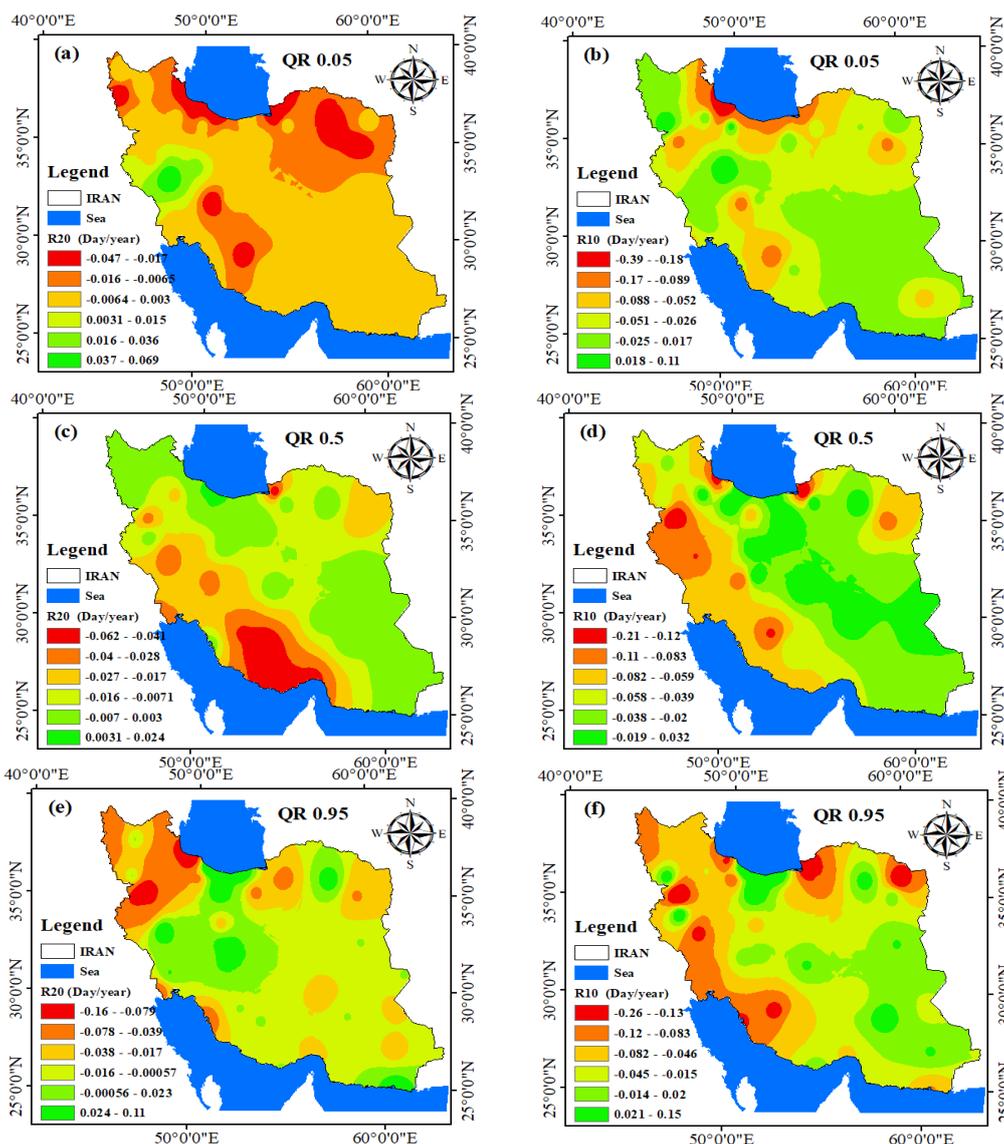


شکل ۴- تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های حدی بارش در ایران: الف و ج (R10) و ب و د (R20)

Fig 4. Spatial and temporal variations of extreme precipitation indices in Iran: a, b (R10) and c, d (R20)

ایستگاه‌های آبادان، گرگان، سنندج و شیراز، در سطح ۹۹٪ و در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، خرم‌آباد و آبادان، در سطح ۹۵٪ و در ایستگاه‌های انزلی، اراک، کرمانشاه و تهران در سطح ۹۹٪ روند نزولی و معنی‌دار بوده است. در چندک ۰/۹۵ که مقادیر بیش‌تر شاخص R10 را شامل می‌شود، تا حدودی نسبت به دو چندک دیگر، پهنه‌های بیش‌تری از ایران روند نزولی داشتند به طوری‌که ایستگاه‌های بوشهر و چابهار در سطح ۹۹٪ و ایستگاه‌های آبادان، مشهد، سنندج، شاهرود و شیراز در سطح ۹۵٪ و ایستگاه زنجان در سطح ۹۹٪ روند نزولی معنی‌دار را نشان دادند.

شکل (۵) و جدول (۲) روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش R20 و R10 را در چندک‌های مختلف نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست‌آمده شاخص R10 در چندک ۰/۰۵ در قسمت‌های شمال ایران، روند نزولی داشته است. ایستگاه‌های بابلسر، گرگان، ایرانشهر، رشت و تهران در سطح ۹۵٪ و ایستگاه شیراز در سطح ۹۹٪ این روند نزولی، معنی‌دار می‌باشند. فقط در ایستگاه‌های قزوین (۰/۰۴۲) و سقز (۰/۰۶۹) در سطح ۹۹٪ روند صعودی معنی‌دار مشاهده شد. در چندک میانۀ (۰/۵) تعداد روزهای با بارندگی ۱۰mm در بخش‌های شمال و غرب ایران و ناحیه زاگرس، روند نزولی داشته و این کاهش روند، قسمت‌های زیادی از ایران را در بر گرفته است که در



شکل ۵- تغییرات مکانی شیب خط رگرسیون‌های چندکی برای شاخص‌های حدی بارش در ایران: الف- R20 (0.05)، ب- R10 (0.05)، ج- R20 (0.5)، د- R10 (0.5)، ه- R20 (0.95) و و- R10 (0.95)

Fig 5. Spatial variations in the slope of quantile regressions in Iran: a) R20 (0.05), b) R10 (0.05), c) R20 (0.5), d) R10 (0.5), e) R20 (0.95), and f) R10 (0.95)

و بخش‌های شمال‌غرب ایران روند نزولی‌تر شده است به‌طوری‌که ایستگاه سنندج (+۰/۱۶) بیش‌ترین روند نزولی و ایستگاه رامسر بیش‌ترین روند صعودی (+۰/۰۲۴) را داشته است. بر اساس نتایج، در اکثر مناطق ایران سهم بارش‌های سنگین به‌شدت کاهش‌یافته و روند نزولی داشته است. یافته‌های حاضر با نتایج Hejdazizadeh et al. (2020) که نشان دادند تعداد روزهای بارش سنگین در نواحی غرب، جنوب غربی و شمال‌شرقی ایران، روند نزولی معنی‌دار دارند، هم‌خوانی دارد.

بر اساس شاخص R20 در چندک ۰/۰۵ قسمت‌های شمال و شرق ایران، روند نزولی داشته است. ایستگاه‌های شیراز و تربت‌حیدریه روند نزولی و ایستگاه خرم‌آباد روند صعودی (+۰/۰۶۹) معنی‌داری داشتند. همچنین در چندک ۰/۵ میانی فقط بخش‌های زاگرس روند نزولی داشتند. در ایستگاه بندرلنگه در سطح ۰/۹۹ و در ایستگاه فسا در سطح ۰/۹۵ روند نزولی معنی‌داری مشاهده شد و بیش‌ترین روند صعودی غیر معنی‌دار R20 در ایستگاه رامسر (+۰/۰۲۴) به‌دست آمد. در چندک ۰/۹۵ کاهش روند شرق و بخش‌های زاگرس کم‌تر شده

جدول ۲- مقادیر شیب خطوط رگرسیون چندکی شاخص‌های حدی بارش R10 و R20

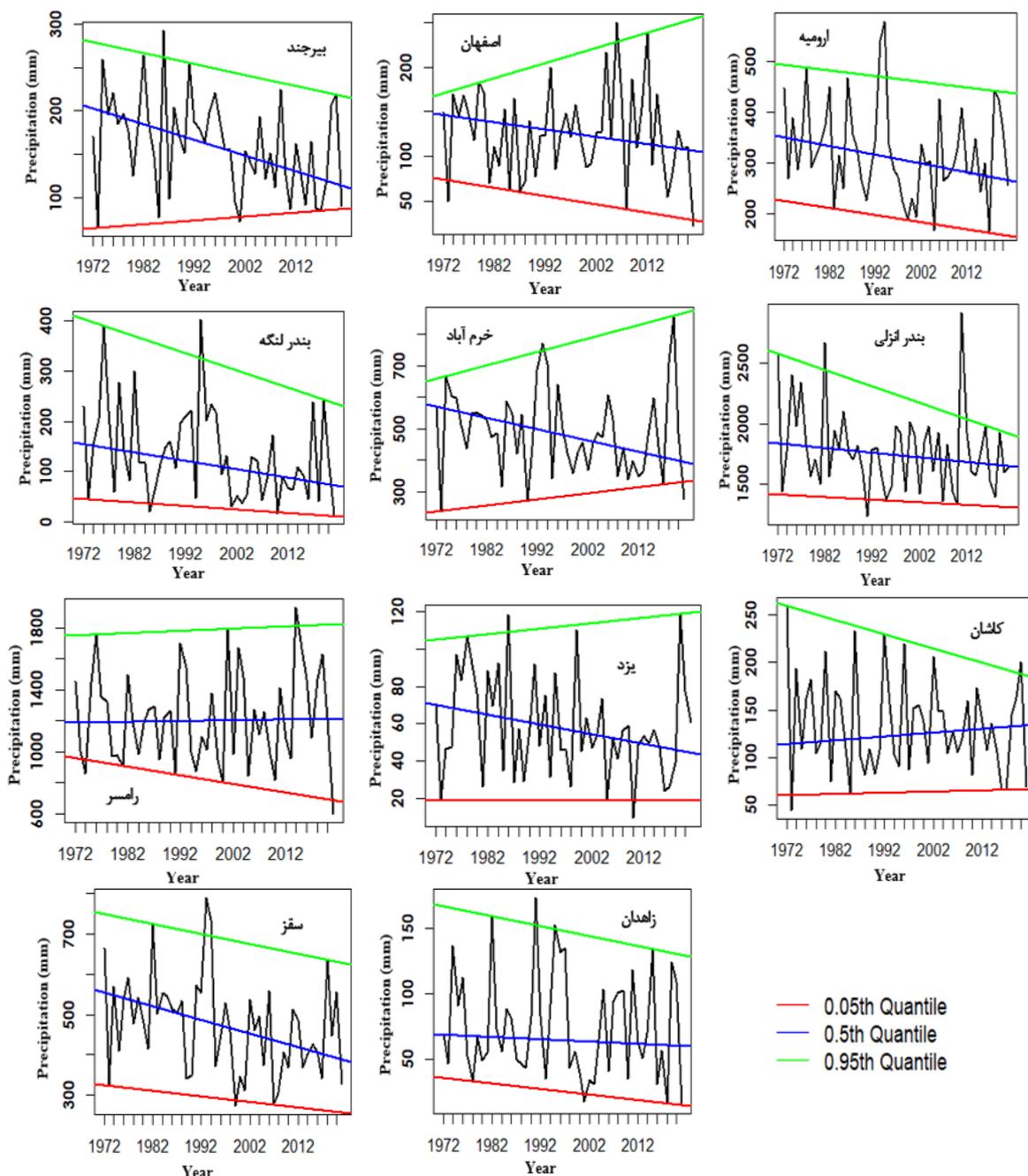
Table 2 The slopes of quantile regression lines for R10 and R20 extreme precipitation indices

Station	QR10 (0.05)	QR10 (0.5)	QR10 (0.95)	QR20 (0.05)	QR20 (0.5)	QR20 (0.95)
Abadan	-0.054*	-0.067**	-0.107**	0	-0.032	-0.056
Ahvaz	0	-0.067	-0.115	0	-0.027	0.024
Anzali	-0.25	-0.217*	-0.106	-0.045	0	-0.125
Arak	0.108	-0.077*	-0.054	0.021	-0.024	0
Babolsar	-0.150**	0	0.103	0	0	0.062
Bam	0	-0.025	0.0465	0	0	0
Bandar-e-Abbas	0	-0.042	-0.054	0	-0.045	-0.024
Bandar-e-Lengeh	-0.041	-0.081	0	0	-0.062***	0
Birjand	-0.026	-0.031	0.022	0	0	0
Bushehr	-0.05	-0.061	-0.139***	0	0	-0.065
Chahbahar	0	-0.032	-0.085***	0	0	0.041
Esfahan	-0.021	0	0	0	-0.021	0.079
Fasa	-0.022	-0.043	-0.05	0	-0.061*	0
Gorgan	-0.143**	-0.171***	-0.211	-0.042	-0.048	-0.026
Iranshahr	-0.062**	-0.032	0.023	0	0	-0.024
Kashan	0	-0.0001	-0.0625	0	0	-0.025
Kerman	0	0	-0.028	0	0	-0.028
Kermanshah	-0.063	-0.091*	0.068	0	0	-0.048
Khorramabad	-0.023	-0.120**	-0.154	0.069***	-0.04	0.053
Khoy	0	-0.043	-0.088	0	0	-0.050
Mashhad	0	-0.071	-0.187**	0	-0.025	-0.028
Qazvin	0.042***	0.032	-0.116	0	0	-0.045
Ramsar	-0.143	0.029	0.146	-0.047	0.024	0.111*
Rasht	-0.400**	-0.059	-0.162	-0.037	0	-0.135
Sabzevar	-0.025	0	0.042	-0.025	0	0.042
Saghez	0.069***	-0.04	0.053	0	0	0
Sanandaj	-0.111	-0.179***	-0.265**	0	-0.034	-0.162
Semnan	0	0.023	-0.064	0	0	-0.05
Shahrekord	-0.114	-0.105	0	-0.037	-0.036	0
Shahrud	-0.033	0	-0.128**	0	0	-0.0625
Shiraz	-0.118***	-0.125***	-0.150**	-0.027***	-0.043	0
Tabriz	0	-0.03	-0.059	0	0	0
Tehran	-0.083**	-0.074*	0.098	0	0	0.063
Torbat Heydariyeh	-0.105	-0.100**	0	-0.029***	-0.027	-0.043**
Urmia	0	-0.075	-0.12	-0.033	0	-0.048
Yazd	0	0	0.024	0	0	0
Zahedan	0	0	-0.03	0	0	-0.022
Zanjan	0	0	-0.043*	0	-0.022	-0.059

سطوح معنی‌داری: \*\*\* p &lt; 0.01; \*\* p &lt; 0.05; \*p &lt; 0.1

داشته است، مطابقت دارد. (2017) Mohammadi et al. نشان دادند شاخص‌های R10، R20 و R25 در اغلب ایستگاه‌های ایران، روند منفی دارد. لازم به ذکر است در تحقیقات انجام شده در ایران، از روش رگرسیون چندکی در تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش استفاده نشده است، لذا نتایج تحلیل روند در چندک ۰/۵ با نتایج سایر پژوهشگران (روش من‌کندال)، مقایسه شده است.

آن‌ها در تحلیل روند بارندگی ایران گزارش کردند روند بارش سالانه در حدود ۰/۹۹٪ از مساحت ایران، منفی بوده است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد توزیع زمانی و مکانی شاخص‌های حدی R10 و R20 در ایران نزولی بوده است. همچنین نتایج پژوهش حاضر با تحقیقات (2020) Fathian et al.; (2014) Babaei et al. و (2014) Rahimzadeh et al. مبنی بر اینکه تعداد روزهای بارش سنگین (R10) و روزهای بارش خیلی سنگین (R20) به ترتیب ۱/۲- و ۰/۴- روز در هر دهه، کاهش



شکل ۶- رگرسیون چندکی میانگین بارندگی سالانه در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 6 Quantile regression of annual precipitation at some stations

۴- تهیه نقشه‌های تغییرپذیری مکانی روند بارش در چندک‌های مختلف، می‌تواند به‌عنوان یک بستر مطمئن‌تر برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، تدوین استراتژی سازگار با مخاطرات طبیعی (خشکسالی و سیلاب)، مورد استفاده قرار گیرد. اجرا و توسعه مدل‌های رگرسیون چندکی (یک و چند متغیره) در تحلیل روند دما، شاخص‌های حدی دما و شاخص‌های مختلف خشکسالی به‌عنوان چشم‌انداز پژوهش، توصیه می‌شود.

به‌طور کلی تحلیل روند بر اساس رگرسیون چندکی، برای شرایط اقلیمی بسیار خشک و مرطوب، نسبت به روش‌های رایج تحلیل روند مانند من‌کندال، برتری داشته و می‌تواند نیازهای متخصصان و تصمیم‌گیرندگان را در مواجهه با برنامه‌ریزی بلندمدت و تغییرات آب و هوایی برطرف کند. توصیه می‌شود تحلیل روند با روش رگرسیون چندکی برای متغیرهای دما، بارش، تعداد بیشتری از شاخص‌های حدی بارش و دما در سطح ایران بر اساس داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های هواشناسی، مورد استفاده قرار گیرد و با در نظر گرفتن سناریوهای تغییر اقلیم، تحلیل روند شاخص‌های حدی در دوره‌های اقلیمی آینده، مورد ارزیابی قرار گیرد.

### سپاسگزاری

این پژوهش، بر اساس نتایج پژوهش رساله دکتری در حال اجرا در دانشگاه ارومیه، نگارش شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از سازمان هواشناسی ایران تهیه شده است. نویسندگان مقاله از حمایت مالی دانشگاه ارومیه، پشتیبانی و مساعدت سردبیر و هیات محترم تحریریه مجله، نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولید شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

در شکل (۶) خطوط رگرسیون در سه چندک  $0/5$ ،  $0/05$  و  $0/95$  به‌منظور تحلیل روند میانگین بارندگی سالانه برای تعدادی از ایستگاه‌ها ارائه شده است. مقادیر شیب خطوط رگرسیون (صعودی یا نزولی) در هر سطح چندکی، برای تشخیص روند مقادیر بارش سالانه مورد استفاده می‌گیرد. اگر شیب  $\beta(q)$  برای همه چندک‌ها ثابت یا یکسان باشد، متغیر بارش از نوع همسان می‌باشد. اگر شیب  $\beta(q)$  برای چندک‌های مختلف در یک ایستگاه، متفاوت باشد، متغیر ناهمسان است (Qian et al. 2022). بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت در ایستگاه‌های ارومیه، انزلی، بندرلنگه و سقز، روندها تقریباً همگن هستند و در اصفهان، بیرجند، خرم‌آباد، رامسر، یزد، زاهدان و کاشان، غیر همسان می‌باشند.

### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش از روش نوین مدل رگرسیون چندکی در تحلیل روند میانگین بارندگی سالانه و شاخص‌های حدی بارش در ۳۹ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره آماری ۵۰ ساله (۲۰۲۱-۱۹۷۲) استفاده شد. از چندک  $0/05$  برای تحلیل روند مقادیر کم (خشک)، از  $0/5$  برای حالت میانی و از  $0/95$  برای مقادیر زیاد (بارش سالانه یا شاخص‌ها) استفاده شد. نتایج کلی پژوهش شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- میانگین بارندگی سالانه در بخش وسیعی از ایران در سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۲۱ کاهش یافته است، بعلاوه، شاخص‌های حدی بارش R10، R20 در اغلب ایستگاه‌ها، روند کاهشی داشته است.

۲- بیش‌ترین تعداد روزهای با بارندگی‌های سنگین (R10) و خیلی سنگین (R20) در شمال و شمال‌غرب ایران بوده است و بر اساس رگرسیون چندکی، بیش‌ترین روند نزولی دو شاخص مذکور، در شمال و شمال‌غرب ایران مشاهده شد.

۳- رگرسیون چندکی توانست شرایط بسیار مرطوب (چندک  $0/95$ ) و بسیار خشک (چندک  $0/05$ ) را نمایش دهد. شیب این نوع رگرسیون در چندک‌های بالا و پایین، متفاوت است درحالی‌که با استفاده از رگرسیون خطی معمولی، نمی‌توان به تحلیل روند داده‌ها در طبقات مختلف توزیع فراوانی متغیر بارش و یا شاخص‌های حدی بارش پرداخت.

## References

- Abbas, S. A., Xuan, Y., & Song, X. (2019). Quantile regression-based methods for investigating rainfall trends associated with flooding and drought conditions. *Water Resour. Manag.* 33(12), 4249–4264. DOI: [10.1007/s11269-019-02362-0](https://doi.org/10.1007/s11269-019-02362-0).
- Akbary, M. (2015). Combinatory Mediterranean-Sudanese systems role in the occurrence of heavy rainfalls (case study: South west of Iran). *Meteorol. Atmospher. Phys.* 127, 675–683. DOI: [10.1007/s00703-015-0389-x](https://doi.org/10.1007/s00703-015-0389-x).
- Babaei, O., Ghasemi, E., & Fatahi, F. (2014). Assessment of climate change effects on extreme precipitation indices over Iran. *J. Spat. Assess. Nat. Hazard.* 1(3), 85–103.
- Bazrafshan, O., Zamani, H., & Shekari, M. A. (2020). copula-based index for drought analysis in arid and semi-arid regions of Iran. *Nat. Resour. Mode.* 33(1). DOI: [10.1111/nrm.12237](https://doi.org/10.1111/nrm.12237).
- Caloiero, T., Coscarelli, R., & Ferrari, E. (2018). Application of the Innovative Trend Analysis Method for the Trend Analysis of Rainfall Anomalies in Southern Italy. *Water Resour. Manag.* 32(15), 4971–4983. DOI: [10.1007/s11269-018-2117-z](https://doi.org/10.1007/s11269-018-2117-z).
- Cheng, Q., Gao, L., Zuo, X., & Zhong, F. (2019). Statistical analyses of spatial and temporal variabilities in total, daytime, and nighttime precipitation indices and of extreme dry/wet association with large-scale circulations of Southwest China, 1961–2016. *Atmos. Res.* 219: 166–182. DOI: [10.1016/j.atmosres.2018.12.033](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.033).
- Dabanlı, İ., Şen, Z., Yeleğen, M., Şişman, E., Selek, B., & Güçlü, Y. (2016). Trend assessment by the innovative-Şen method. *Water Resour. Manag.* 30(14), 5193–5203. DOI: [10.1007/s11269-016-1478-4](https://doi.org/10.1007/s11269-016-1478-4).
- Dinpashoh, Y., Mirabbasi, R., Jhajharia, D., Abianeh, H. Z., & Mostafaeipour, A. (2014). Effect of short-term and long term persistence on identification of temporal trends. *J. Hydrol. Eng.* 19(3), 617–625. DOI: [10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.00008](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.00008).
- Fan, L. (2014). Quantile trends in temperature extremes in China. *Atmos. Ocean. Sci. Lett.* 7(4), 304–308. DOI: [10.1080/16742834.2014.11447180](https://doi.org/10.1080/16742834.2014.11447180).
- Fathian, F., Ghadami, M., Haghghi, P., Amini, M., Naderi, S., & Ghaedi, Z. (2020). Assessment of changes in climate extremes of temperature and precipitation over Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 141, 1119–1133. DOI: [10.1007/s00704-020-03269-2](https://doi.org/10.1007/s00704-020-03269-2).
- Ghasemi, A. R., & Khalili, D. (2008). The association between regional and global atmospheric patterns and winter precipitation in Iran. *Atmos. Res.* 88(2), 116–133. DOI: [10.1016/j.atmosres.2007.10.009](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.10.009).
- Greenville, A. C., Glenda, M., Wardle, G. M., & Dickman, C. R. (2012). Extreme climatic events drive mammal irruptions: regression analysis of 100-year trends in desert rainfall and temperature. *Ecol. Evol.* 2(11), 2645–2658. DOI: [10.1002/ece3.377](https://doi.org/10.1002/ece3.377).
- Hedjazizadeh, Z., Halabian, A. H., Karbalaee, A., & Toulabi, M. (2020). Detection of extreme values variations of precipitation over Iran. *JNEH.* 9(23), 135–150. DOI: [10.22111/JNEH.2019.29874.1519](https://doi.org/10.22111/JNEH.2019.29874.1519).
- International Panel on Climate Change, IPCC (1996). *Climate Change 1995: The Science of Climate*. Cambridge University Press. 588 pp. Available online at: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/>, Accessed 7, April 2024.
- Jamali, M., Gohari, A., Motamedi, A., & Haghghi, A. T. (2022). Spatiotemporal changes in air temperature and precipitation extremes over Iran. *Water.* 14(21), 3465. DOI: [10.3390/w14213465](https://doi.org/10.3390/w14213465).
- Javari, M. (2016). Trend and homogeneity analysis of precipitation in Iran. *Clim.* 4(3), 44. DOI: [10.3390/cli4030044](https://doi.org/10.3390/cli4030044).
- Klein Tank, A. M. G., Zwiers, F. W., & Zhang, X. (2009). Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation, WMO-TD; No. 1500/WCDMP-No. 72; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland. p. 52.
- Koenker, R. (2005). *Quantile regression*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Koenker, R., & Bassett, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica*, 46, 33–50. DOI: [10.2307/1913643](https://doi.org/10.2307/1913643).
- Lee, K., Baek, H. J., & Cho, C. (2013). Analysis of changes in extreme temperatures using quantile regression. *Asia. Pac. J. Atmos. Sci.* 49(3): 313–323. DOI: [10.1007/s13143-013-0030-1](https://doi.org/10.1007/s13143-013-0030-1).
- Lucas, E. W. M., de Sousa, F. D. A. S., dos Santos Silva, F. D., da Rocha Júnior, R. L., Pinto, D. D. C., & da Silva, V.D.P.R. (2021). Trends in climate extreme indices assessed in the Xingu River basin-Brazilian Amazon. *Weather. Clim. Extrem.* 31. 100306. DOI: [10.1016/j.wace.2021.100306](https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100306).
- Mohammadi, H., Azizi, Gh., khoshahklagh, F., & Ranjbar, F. (2017). Analysis of Daily Precipitation Extreme Indices Trend in Iran. *Phys. Geogr.* 49(1), 21-37. DOI: [10.22059/JPHGR.2017.61577](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2017.61577).
- Mohan, P., Srinivas, C., Yesubabu, V, Baskaran, R., & Venkatraman, B. (2018). Simulation of a heavy rainfall event over Chennai in Southeast India using WRF: Sensitivity to microphysics parameterization. *Atmos. Res.* 210, 83–99. DOI: [10.1016/j.atmosres.2018.04.005](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.005).
- Pandey, B. K., & Khare, D. (2018). Identification of trend in long term precipitation and reference evapotranspiration over Narmada River basin (India). *Glob. Planet. Change.* 161, 172–182. DOI: [10.1016/j.gloplacha.2017.12.017](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.12.017).
- Qian, Z., Wang, L., Chen, X., Zhang, H., & Li, Z. (2022). Heteroscedastic Characteristics of Precipitation with Climate Changes in China. *Atmosphere*, 13, 2116. DOI: [10.3390/atmos13122116](https://doi.org/10.3390/atmos13122116).
- Rahimzadeh, F., Asgari, A., & Fattahi, E. (2009). Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *Int. J. Climatol.* 29(3), 329–343. DOI: [10.1002/joc.1739](https://doi.org/10.1002/joc.1739).
- Rasooli, A. A., Roshani, R., & Ghasemi, A. R. (2013). Analyzing the Spatial-Temporal Changes of Annual Precipitation of Iran. *GeoRes.* 28(1), 205-224.
- Salehi, S., Dehghani, M., Mortazavi, S.M., & Singh, V.P. (2020). Trend analysis and change point detection of seasonal and annual precipitation in Iran. *Int. J. Climatol.* 40(1), 308-323. DOI: [10.1002/joc.6211](https://doi.org/10.1002/joc.6211).
- Sanikhani, H., Kisi, O., Mirabbasi, R., & Meshram, S. G. (2018). Trend analysis of rainfall pattern over the Central India during 1901–2010. *Arab. J. Geosci.* 11(15), 437. DOI: [10.1007/s12517-018-3800-3](https://doi.org/10.1007/s12517-018-3800-3).
- Sharafi, S., & Ghaleni, M. M. (2022). Spatial assessment of drought features over different climates and seasons across Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 147(1), 941–957. DOI: [10.1007/s00704-021-03853-0](https://doi.org/10.1007/s00704-021-03853-0).
- Shi, X., & Xu, X. (2008). Interdecadal trend turning of global terrestrial temperature and precipitation during 1951–2002. *Prog. Nat. Sci.* 18(11), 1383–1393. DOI: [10.1016/j.pnsc.2008.06.002](https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.06.002).
- Shifteh Some'e, B., Ezani, A., & Tabari, H. (2012). Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran. *Atmos. Res.* 113, 1-12. DOI: [10.1016/j.atmosres.2012.04.016](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.04.016).
- Tareghian, R. M., & Rasmussen, P. (2013). Statistical downscaling of precipitation using quantile regression. *J. Hydrol.* 487, 122–135. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2013.02.029](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.029).
- Wang, R., Chen, J., Chen, & X., Wang, Y. (2017). Variability of precipitation extremes and dryness/wetness over the southeast coastal region of China, 1960–2014. *Int. J. Climatol.* 37(13), 4656-4669. DOI: [10.1002/joc.5113](https://doi.org/10.1002/joc.5113).
- Wang, Y., Xu, Y., Tabari, H., Wang, J., Wang, Q., Song, S., & Hu, Z. (2020). Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall in the Yangtze River Delta, eastern China. *Atmos. Res.* 231(3), 104673. DOI: [10.1016/j.atmosres.2019.104673](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104673).
- Xu, Y., Xu, Y., Wang, Y., Wu, L., Li, G., & Song, S. (2016). Spatial and temporal trends of reference crop evapotranspiration and its influential variables in Yangtze River Delta, eastern China. *Theor. Appl. Climatol.* 130(3–4), 1–14. DOI: [10.1016/j.atmosres.2019.104673](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104673).
- Yang, H., Xiao, H., Guo, C., & Sun, Y. (2019). Spatial-temporal analysis of precipitation variability in Qinghai Province, China. *Atmos.*

- Res. 228(1), 242–260. DOI: [10.1016/j.atmosres.2019.06.005](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.06.005).
- Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2021). Projection of future extreme precipitation in Iran based on CMIP6 multi-model ensemble. *Theor. Appl. Climatol.* 144(1-2): 643–660. DOI: [10.1007/s00704-021-03568-2](https://doi.org/10.1007/s00704-021-03568-2).